# 組み込みマイコンにおけるベンチマーク利用法の新しい動向

## 車載，産業機器，民生機器などの分野別ベンチマークを提供するEEMBC（エンバシー）

大塚　聡


**組み込みプロセッサやFPGAを搭載した基板の性能を比較してみたいと思うのは，システム設計者にとっては当たり前のことだろう．このプロセッサの性能をはかる目安としてMIPS値やdrystoneが一般的に使われているが，より組み込みシステムの用途に特化したパフォーマンスをはかる基準が提示され，多くのCPU，FPGAベンダが参加してベンチマークの基準が策定されてきた．この成果を公表する．（編集部）**

## ベンチマークとはなにか？

ベンチマークは，もともと作業台に記された刻印が，ある測定基準になっていたことに起源を持ちます．その後作業台の刻印は改良されて物差しに変わりました．ことマイクロプロセッサに視点を移すと，その性能を客観的に測定および比較ができ，信憑性（しんぴょうせい）のある方法で評価できることが重要です．

プロセッサを選択する場合，セット・メーカにとっては実際に利用するアプリケーション・ソフトウェアを実行して比較すれば，いちばん正確な結果が得られると思われます．しかし，比較の段階は開発の初期段階であるため，まだアプリケーション・ソフトウェアがポーティングされていない場合がほとんどです．また，アプリケーション・ソフトウェアは性能評価を念頭に書かれているわけではないので，コードを書き換える手間が必要です．このような場合にベンチマーク・ソフトウェアは比較を容易に実現できます．

## 現在入手可能なベンチマーク・ソフトウェア

**表1**に，組み込み市場で一般的なベンチマーク・ソフトウェアを示します．

DhrystoneとSPECは古くから存在し，プロセッサ・ベンダを含めて広範囲に利用されています．

BDTIは信号処理市場でよく引用されます．MediaBenchとMiBenchは産業界ではあまり用いられませんが，大学などの学術機関では一般的です．その理由は，用途別ベンチマークにも関わらず，ソース・コードが無償で提供され，産業界でプロセッサ選定時に重視されるスコアの信憑性よりも，ベンチマーク開発そのものやプロセッサのアーキテクチャとの関連性，コンパイラの最適化に関心があるからです．

EEMBCの会員企業は約50社あり，整備されたベンチマーク策定プロセスと公平な策定基準を持つことで産業界の厚い信頼を得て，実質的な業界標準ベンチマーク・ソフトウェアになっています．

### ● Dhrystoneは汎用プロセッサの性能評価に使われるが，プロセッサ，メモリ，サブシステムの性能予測は困難

Dhrystoneは1984年にReinhold P. Weickerが開発したベンチマーク・ソフトウェアです．一つの測定ループの中に存在する12個のプロシージャ（手続き）から構成される合成ベンチマーク（synthetic benchmark）です．合成ベンチマークとは，一般的なプログラムを統計的に分析し，そ


KeyWord　ベンチマーク，EEMBC，Dhrystone，SPECmark，BDTI，MediaBench，スコア計測法

**表1　組み込み市場で一般的なベンチマーク・ソフトウェア**

| ベンチマークの名称 | Dhrystone | SPEC | BDTI | MediaBench | MiBench | EEMBC |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 策定目的 | 汎用プロセッサの整数演算処理性能を評価・比較する | 汎用プロセッサ，メモリ，コンパイラの性能評価と比較 | 信号処理用途向けに性能の評価と比較を行う | 画像処理，通信，DSP用途向けに性能評価と比較を行う | 六つの組み込み用途向けに性能評価と比較を行う | 七つの組み込み用途向けに処理・消費電力の性能評価と比較を行う |
| 策定は1社か企業連合か | 1社 | 連合体（約45社の会員企業） | 1社 | 1社（大学） | 1社（大学） | 連合体（約50社の会員企業） |
| 評価内容 | 処理性能 | 処理性能 | 処理性能 | 処理性能 | 処理性能 | 処理性能と消費エネルギー |
| 用　途 | 汎用プロセッサ | サーバ，ワークステーション，高性能数値演算処理，UNIX系画像処理 | DSP | マルチメディア，通信 | 車載，民生機器，ネットワーク，OA，セキュリティ，通信機器 | 車載・産業機器，民生機器，Java，OA機器，ネットワーク機器，通信機器，ストレージ機器 |
| 合成ベンチマークか実用途ベースか | 合成 | 実用途 | 合成 | 実用途 | 合成 | 合成 |
| 第三者によるスコアの検証・認定 | なし | なし | 存在するが，認定されていないスコアを公開することは可能 | なし | なし | 検証・認定はスコアを公開するための必要条件 |
| 近年の流れ | — | サーバ向けにエネルギーと処理性能を評価・比較する指標を策定する委員会を設置 | STB，マルチメディア携帯電話などのビデオ用途向けにBDTI Video Benchmarkをリリース | — | — | 消費エネルギー測定法を標準化した |
| ソフトウェアは有償か　無償か | 無償 | 無償 | 有償 | 無償 | 無償 | 有償 |

の負荷を再現できるようにした単純なプログラムの集合体です．

Dhrystoneは，頻繁に使うコピーや比較といったストリング処理をプログラムのベースにしており，プロセッサの整数演算性能を評価するためのものです．1秒間に何回測定ループを回せたかで処理性能を評価します．VAX11/780の性能が1MIPSとよく言われますが，このマシンのDhrystone値が1,757になるため，測定結果のDhrystone値を1,757で割った値をDMIPS（ドライストーン・ミップス）という場合が多くあります．

Dhrystoneは現在，プロセッサ・ベンダのマーケティング・ツールとして一般的に用いられているベンチマーク・ソフトウェアの一つです．しかし，プログラム・サイズが比較的小さく，キャッシュにヒットしてしまうため，メモリ・バスの性能まで考慮することができません．現実的なプロセッサの性能はメモリとのインターフェースに大きく依存するため，Dhrystoneではプロセッサ・メモリ・サブシステムの性能を予測することは困難です．

### ● SPECmarkはワークステーションやサーバで用いられるソフトウェアをベースにしている

SPECmarkは，もともとワークステーション・メーカが主体となって策定したベンチマーク・ソフトウェアです．米国の非営利団体SPEC（Standard Performance Evaluation Corporation，http://www.spec.org/）はワークステーションやサーバで実際に用いられるアプリケーション・ソフトウェアをベースにSPECmarkを策定しており，これはDhrystoneのような合成ベンチマークではありません．整数演算性能を示すSPECintと浮動小数点演算性能を示すSPECfpがあります．

1989年にリリースされたSPEC89からスタートし，プロセッサの進化とともにこのベンチマークにも拡張と改良が加えられ，SPEC92，SPEC95，SPEC CPU2000，CINT2000，CFP2000へと発展していきました．具体的なベンチマークの種類としては，流体シミュレーション171.swim，3次元空間におけるマルチグリッド・ソルバ172.mgrid，変微分方程式173.applu，流体力学178.galgelなどがあります．SPECmarkは高性能をうたうプロセッサのマーケティング・ツールとしてよく利用されます．

### ● BDTIは信号処理向けで，DSP，汎用プロセッサ，FPGAが評価対象

BDTIベンチマークは，信号処理能力の検証用ベンチマーク・ソフトウェアです．アルゴリズム・カーネル・ベンチ

マーク・スイーツであるBDTI DSP Kernel Benchmarksと信号処理アプリケーションであるBDTI DSP Application Benchmarksから構成されます.

前者は信号処理に共通したベンチマークの集合体で，後者は画像や通信といった用途別ベンチマークとなっています. DSP，汎用プロセッサ，FPGAがこのベンチマークの評価対象となります. 米国BDTI（Berkley Design Technology, Inc.，http://www.bdti.com/）は，それらの評価対象を作る製造メーカとは独立して，ベンチマーク結果であるBDTImarkを計測，検証，認定および公開するサービスを提供しています.

### ● MediaBenchは画像処理，通信機器向けのベンチマーク

MediaBenchは米国University of California, Los Angeles（UCLA）で開発された複数命令の並列処理，VLIW（very long instruction word）命令，SIMD（single instruction stream-multiple data stream）命令などについて，コンパイラが持つ機能の有効性を探求するために策定された，画像処理通信機器にフォーカスしたベンチマーク・ソフトウェアです. また応用分野を拡張したMiBenchが米国University of Michiganより発表されています.

MiBenchには自動車・産業機器，民生機器，OA機器，ネットワーク機器，セキュリティ機器，通信機器の6分野について，35種類のベンチマーク・ソフトウェアがあります. これらの大学発のベンチマークは無償ですが，ソフトウェアのバージョン変更，拡張，保守などがあまりされておらず，また，スコア結果の公正さを判定する第三者機関もありません. そのため，産業界においてはあまり利用されていません.

### ● EEMBCは車載，産業機器，民生機器などそれぞれの分野別のベンチマーク・スイーツを策定

1997年に，第三者の認定機関を用いたベンチマーク結果の検証まで行うプロセッサ・ベンダをおもな会員とするベンチマーク・コンソーシアムEEMBC（エンバシー）（EDN Microprocessor Benchmark Consortium，http://www.eembc.org/）が設立されました. EEMBCには車載・産業機器，民生機器，Java，OA機器，ネットワーク機器，通信機器，ネットワーク・ストレージというアプリケーションごとの分科会が存在します. それぞれの分科会では，分野別によく用いられる機能を評価するベンチマーク・ソフトウェアをベンチマーク・スイーツの形で策定し，業界標準として確立しています.

主にプロセッサ・ベンダやCPU IP（intellectual property）コア・ベンダから構成されるこの団体は，スコア値の信憑性を高めるため，プロセッサ・ベンダなどが測定した自社プロセッサのベンチマーク・スコアを，第三者機関であるEEMBC技術センター（EEMBC Technology Center）による検証と承認を経ずに公開することをかたく禁じています.

## 業界団体によるベンチマーク標準化の持つ意味

市場に存在するほとんどのベンチマークは1社あるいは数社が開発し，そのベンチマークを使うプロセッサ・ベンダなどが独自に測定結果をリリースするため，汎用性，信憑性を欠く場合が多くありました. 前項で述べたように第三者機関による認定を受けないため，プロセッサ・ベンダの発表したベンチマークの測定条件が不明確な場合，またプロセッサ・ベンダが特殊なチューニングを施して高いスコアを出している場合などを見抜けないことが多く，ベンチマーク・スコアを技術的観点で比較目的に使えず，単にプロセッサ・ベンダのマーケティング・ツールと化してしまっているのが現状でした. EEMBCベンチマークは，従来あったこれらの疑念を晴らす形の業界標準ベンチマークを目指しています.

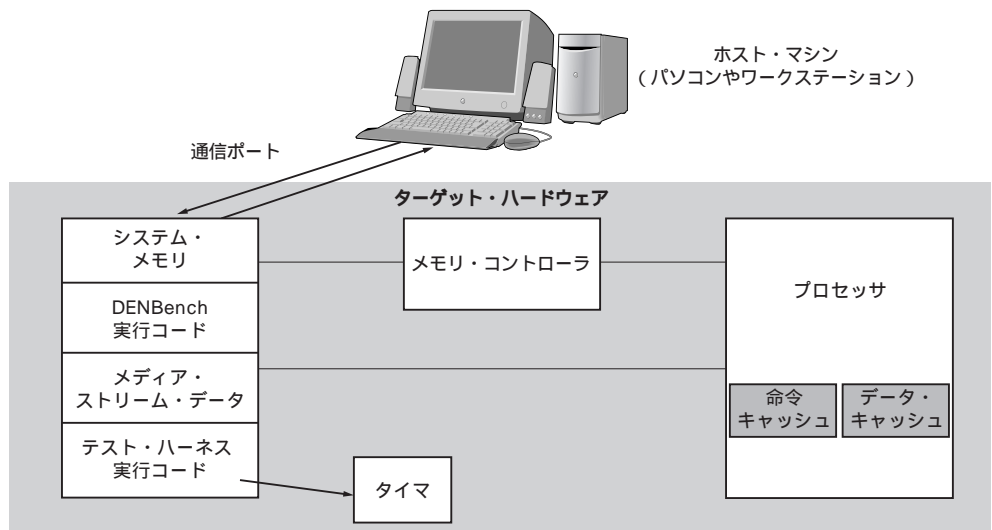
約50社の会員が各分科会に分かれてベンチマークの策定プロセス，策定，および標準化に関与することで中立性，広範囲なアプリケーションにわたるベンチマークの策定が可能になりました. また，ベンチマークの測定結果はEEMBC技術センターでの検証・認定を経ずに公開することができないため，公開スコアは信憑性の高いものとなります. 結果として業界の信頼を得て，EEMBCベンチマークは組み込み分野での性能ベンチマークとして業界標準となっています.

EEMBCの主な会員は**表2**の通りです.

今後，日系企業の会員数が増えた場合には，日本でも準分科会を開く考えです.

表2　EEMBCの現在の主な会員企業(2006年12月現在)

| | | |
|---|---|---|
| 米国Adaptec社 | 米国IBM社 | オランダNXP Semiconductors社 |
| 米国Altera社 | 英国Imagination Technologies社 | 沖電気工業 |
| 米国AMD社 | 米国Improv Systems社 | 米国PMC-Sierra社 |
| 米国Analog Devices社 | ドイツInfineon Technologies社 | 米国Qualcomm社 |
| 米国ARC International社 | 米国Intel社 | 台湾Realtek Semiconductor社 |
| 英国ARM社 | アイピーフレックス | 米国Red Hat社 |
| 米国Artifex Software社 | 米国LSI Logic社 | ルネサス テクノロジー |
| 米国Atmel社 | 米国Marvell Semiconductor社 | ソニー・コンピュータエンタテインメント |
| 米国Broadcom社 | 松下電器産業 | ST Microelectronics社 |
| 米国Code Sourcery社 | 米国Mentor Graphics社 | 米国Sun Microsystems社 |
| スイスesmertec社 | 米国Microchip Technology社 | 米国Tensilica社 |
| 米国Freescale Semiconductor社 | 米国MIPS Technologies社 | 米国Texas Instruments社 |
| 米国Fujitsu Microelectronics社 | 米国National Instruments社 | 東芝 |
| 米国Green Hills Software社 | NECエレクトロニクス | VIA Technologies社 |
| スウェーデンIAR Systems社 | フィンランドNokia社 | 米国Wind River Systems社 |

図1
EEMBCベンチマークのテスト環境

## EEMBCベンチマークの利用法の多目的化

従来プロセッサのベンチマークといえば，プロセッサ・ベンダが自社製品の処理性能の優位性を訴えるためのマーケティング・ツールでしかありませんでした．EEMBCベンチマークは，業界標準ベンチマークとなることで新たな使い方が生まれました．

プロセッサ・ベンダおよびコンパイラ・ベンダは，次世代製品を開発するときの設計指標として，EEMBCベンチマーク・スコアを利用できます．

システム設計者は新規設計で用いるプロセッサの選択を，EEMBCベンチマークを使って行うことができます．またシステム設計者は，実設計のプロセッサ・メモリ・サブシステムのハードウェア・デザインの性能検証に，EEMBCベンチマークを利用できます．近い将来，EEMBCベンチマーク・スコアは，性能に関する設計指標としてシステムの設計仕様書に明記されるようになるでしょう．また，性能に関する品質指標として，システムの品質仕様書に記載されるでしょう．

携帯電話通信事業者は，星の数ほどある携帯電話を性能の観点でクラス分けすることで，分かりやすい分類が可能となり，同時に顧客提案が容易になり，そして次世代携帯電話の設計指標にも利用されるでしょう．携帯電話の購入予定者は，EEMBCベンチマーク・スコア(GrinderBench)をベースにすれば，性能面での購入機種の絞り込みが容易になります．プロセッサ・ベンダやシステム・メーカにとって，いままでグレイゾーンにあった客観的な性能評価法が確立されたことで，今後競争が厳しくなると思われますが，目標設定の明確化，製品訴求力の向上など，プラスの側面のほうが圧倒的に大きいと考えられます．

**表3 EEMBCベンチマーク・スイーツの詳細**

| EEMBCベンチマーク・スイーツの用途 | 車載・産業機器 | DSC，プリンタ | ディジタル・エンターテイメント，PDA，携帯電話，MP3プレーヤ，デジタル・カメラ，カムコーダ，DVDプレーヤ・レコーダ，セットトップ・ボックス，イン・カー・エンターテイメント | 携帯電話，PDA |
|---|---|---|---|---|
| ベンチマーク・スイーツの名称 | AutoBench 1.1 | ConsumerBench 1.1 | DENBench 1.0 | GrinderBench 1.0 |
| ベンチマーク概要 | エンジン制御，車内エンターテイメント，ABS | 静止画像処理 | 動画像処理，DRM，eコマース | Java J2METM，CLDCとCDCのアプリケーション |
| ベンチマーク項目(実測およびシミュレーション) | 点火角度時間変換，整数・浮動小数点演算，ビット操作，キャッシュバスター，CANリモート・データ・リクエスト，FFT，FIR，iDCT，iFFT，IIR，行列演算，ポインタ追跡，PWM，対地速度計算，表引きと補間など | ハイパス・グレースケール・フィルタ，JPEG符号化・復号化，RGBからCMYKへの変換，RGBからYIQへの変換など | AES，DES，ハフマン復号化，MP3復号化，MPEG-2/4の符号化・復号化，RGBからCMYKへの変換，RGBからYIQへの変換，ハイパス・グレースケール・フィルタ，RSAなど | チェス，クリプト，KXML，Parallel，PNG |
| 今後の展開と補足 | 自動車メーカも参加して第2世代のシステム・ベンチマークを開発 | 第2世代ではストリーミング・メディア・ベンチマークとMPベンチマークをターゲット | | 1.0はBlu-ray Disc Associationが採用．第2世代でMIDPをフォーカス |
| 分科会の幹事会社 | Infineon Technologies社 | Freescale Semiconductor社 | | Sun Microsystems社 |

## EEMBCベンチマーク・スイーツの詳細

### ● デフォルトではprintf()とclock()がテスト・ハーネスに用いられている

基本的にEEMBCでは，ベンチマーク・ソース・コードをスクラッチから開発しています．ほかに業界標準のリファレンス・コードや，会員，業界から寄付されたコードも利用します．ベンチマーク・ソフトウェアが引用するデータ・セットはEEMBC独自で決めます．すべてのベンチマーク・ソフトウェアは，テスト・ハーネスという共通のレイヤを介してプロセッサ・ハードウェアにインターフェースします．

テスト・ハーネスは，ハードウェア・インターフェースを司る以外に，WindowsやLinux，UNIXの搭載されたパソコンまたはワークステーションからのベンチマークの起動や実行制御も行います(**図1**)．

システム設計者はテスト・ハーネスをプロセッサ・サブシステムに合わせてコーディングする必要がありますが，デフォルトのテスト・ハーネスではprintf()とclock()の2種のライブラリしか用いないため，これらのライブラリがすでに用意されている場合は，比較的簡単にコーディングができます．もし，これらのライブラリが用意されていない場合は，直接プロセッサの搭載されたターゲット・ボード上のI/Oとタイマにアクセスするようにテスト・ハーネスを書き換える必要があります．

なお，テスト・ハーネスは，実際のハードウェアのみならずシミュレーション・プラットホームにも対応しているため，SOC(system on a chip)におけるシミュレーション・ベースの性能検証や性能最適化のような実チップのないときでも活用できます．

### ● スコア計測法はOTBとOPTが用意されている

EEMBCベンチマークには2種類のスコア計測法があります．一つはOut-of-The-Box(OTB)で，この場合EEMBCベンチマーク・ソース・コードに変更を加えることは許されませんが，一般に提供されるコンパイラを用いてコンパイラに最適化を加えることは許されます．

コンパイラのスイッチ設定情報は，スコアの認定を受ける場合は必ずEEMBC技術センターに開示しなければなりません．

もう一つはFull-fury(OPT)で，この場合には，EEMBCベンチマーク・ソース・コードに変更を加えたり，性能最適化のために必要に応じてアセンブラで置き換えたり，また特殊なライブラリ関数を用いたり，CPUに内蔵されたハードウェア・アクセラレータを利用したりすることが許されます．

EEMBCのWeb上に公開されたスコアはほとんどがOTBの値です．従って，プロセッサを選定する際にはまずOTBで同じ条件での比較を行い，次にOPTスコアが対象プロ

| ローエンド・ルータ | ルータ全般，ネットワーク機器 | プリンタ，プロッタその他のOA機器 | モデム，xDSL，その他固定通信装置 | 全部の用途 | 全部の用途 |
|---|---|---|---|---|---|
| Networking 1.1 | Networking 2.0 | OABench 1.1 | TeleBench 1.1 | EnergyBench 1.0 | MultiBench 1.0 |
| ネットワーク・パケット | Networking 1.1のスーパーセット，ネットワーク・パケット，QOS | 文字・静止画像処理，プリンタ制御言語の性能 | 信号処理 | 消費エネルギー | マルチコア |
| OSPF，レイヤ3でのパケット・フロー，パトリシア・トリーを用いた経路ルックアップ | IPパケット・チェック，NAT，OSPF，QOS，経路ルックアップ，TCP | ディサリング，画像回転，文字ストリングから成るブーリアン表記をパーシング | 自動相関，固定無線通信装置にみられる前方誤り訂正に対応したデータ符号化，DSL向けビット配置アルゴリズム，FFT，ビタビ復号化 | 各ベンチマークを実行したときに消費するエネルギーを実測ベースで計測 | SMPを対象とするマルチコア・ベンチマークで，Multicore Associationと連携する |
| 第2世代ベンチマークの継続的開発 | | ゴースト・スクリプトを含む第2世代ベンチマークの開発 | VOIPを含む第2世代ベンチマークの開発 | スコア値の計測・認定を継続 | SMPを対象とするマルチコア・ベンチマーク |
| Sun Microsystems社 | | IBM社 | 選任中 | PMC-Sierra社 | ARM社 |

セッサに存在すれば，それも考慮した比較を行います．

### ● 用意されている八つのベンチマーク・スイート

具体的にどのようなベンチマーク・スイーツがEEMBCから提供されているかについて説明します．現在，六つの分科会から八つのベンチマーク・スイーツが発表されています．これらのベンチマーク・スイーツは，会員でなくてもソース・コード・ライセンスをEEMBCと締結することで有償にて入手が可能です．この場合，システム設計者は，選定対象のプロセッサを搭載した評価ボード上でコンパイルしたベンチマーク・ソフトウェアを実行することにより，プロセッサ・ベンダとは独立した，中立的でかつ自社用途に即した性能検証が可能となります．

ソース・コードが有償である理由は，プロセッサ・ベンダ向けのスコア認定作業，ソース・コードの維持管理，技術サポート，および分科会の管理などにかなりの工数が発生するからです．ライセンス料は，こうした信憑性の高いベンチマーク・スコアを累積していくために必要不可欠な費用だと考えられます．**表3**に具体的なベンチマーク・スイーツの種類を示します．

車載・産業機器，民生機器，Java，ネットワーキング，OA機器，通信機器の各分科会がありますが，民生機器の分科会はディジタル・エンターテイメントのベンチマーク・スイーツDENBenchも策定しています．実際のシステム設計でプロセッサ・メモリ・サブシステムの性能評価をする場合，かならずしも一つのベンチマーク・スイーツですべての性能が網羅されるわけではなく，複数のベンチマーク・スイーツにまたがる場合があります．以下に示すプリンタにおける応用事例を利用して，実際のEEMBCベンチマークの使い方を説明します．

## EEMBCベンチマークのプリンタにおける応用事例

### ● ベンチマーク・テストの対象をプリンタに設定した場合

ベンチマークを製品設計で利用する具体事例を，プリンタで用いるプロセッサ選定に関して示します．まず，次世代プリンタの基本要求性能を決めます．例えば印字速度24ppmを基本要求性能とします．次に，このプリンタに求められる基本機能を定義します．例えばネットワーク接続，プリンタ制御言語，画像処理，モータ・ドライブ機構，USBインターフェース，LCDメニュー表示を基本機能とします．

これらの各基本機能をEEMBCベンチマーク・スイーツに関連付けます．ネットワーク機能についてはNetworking，プリンタ制御言語についてはOABenchのテキスト処理，画像処理についてはOABenchのディサリングおよび車載・産業機器の行列演算に関連付けることが可能です．また，

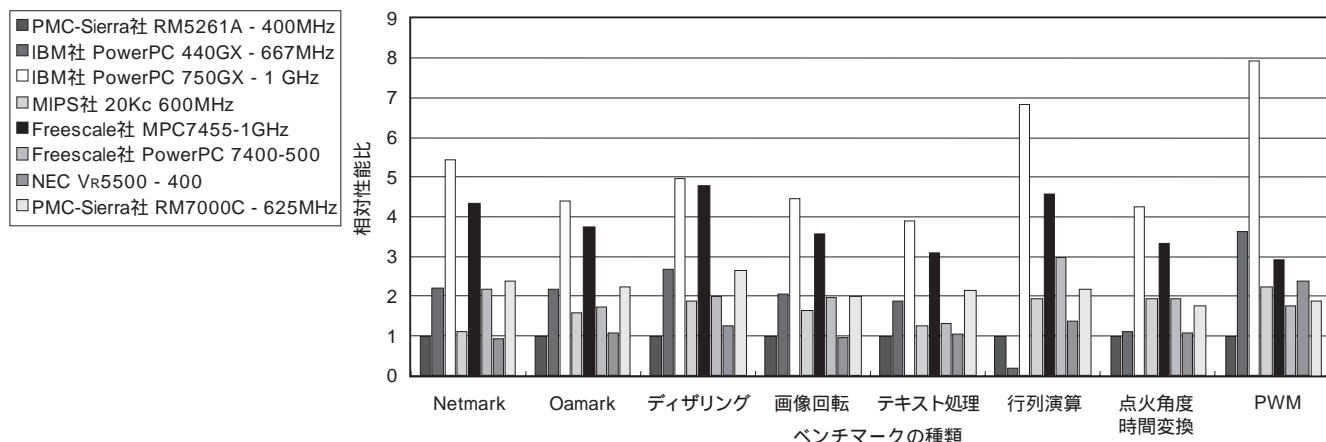



**図2　ベンチマークによる相対性能比較**
**PMC-Sierra社のRM5261A（400MHz）を1にした相対性能を示す**

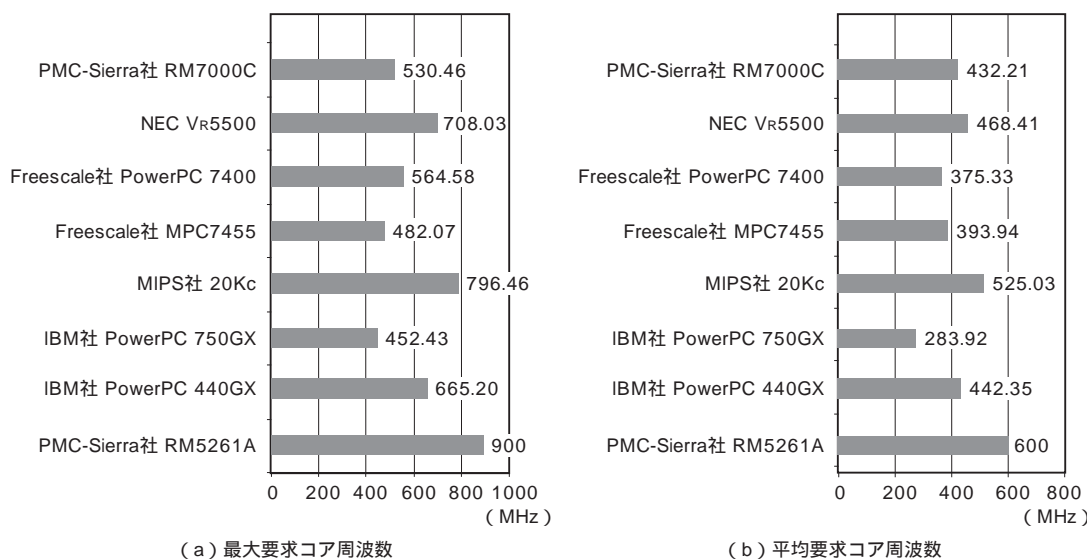



**図3**
**要求コア周波数**

モータ・ドライブ機構については，AutoBenchの点火角度時間変換およびPWMに関連付けます．USBとLCDメニューについては，CPU作業負荷の5%と見積もります．

### ● 旧型機種とのスコア比を目標値に設定する

従来機プリンタの商品化の際に，米国PMC-Sierra社のRM5261A（300MHz）を用いていたと仮定します．各ベンチマーク・スイーツにおいて従来機の性能を1として次世代プリンタの性能目標を決めます．この場合，公開スコアとしてはRM5261A（400MHz）が存在するので，それをデータ・ポイントとして利用します．すると次世代機の性能目標は次のようになります．

―ネットワーキング　×2
―テキスト処理　×2
―ディサリング　×3
―行列　×2
―点火角度/PWM　×1.5
―その他　CPU作業負荷の5%

Web上に公開されたスコアをベースに，目標に近い性能をもつプロセッサについて相対比較したグラフを**図2**に示します．この図ではRM5261A（400MHz）の性能を1としています．これらの性能目標から最大要求コア周波数と平均要求コア周波数を，対象となるプロセッサについて求めます．前者についてはディサリングの×3，後者については点火角度/PWMの×1.5を用いると**図3**が得られます．次に個別のベンチマークについて分析します．

**表4　プロセッサのキャッシュ，浮動小数点演算などの比較**

| プロセッサ | IBM社 PowerPC 440GX | IBM社 PowerPC 750GX | MIPS社 20Kc | Freescale社 PowerPC 7455 | Freescale社 PowerPC 7400 | NEC $V_R$5500 | PMC-Sierra社 RM5261A | PMC-Sierra社 RM7000C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| L1キャッシュ・サイズ(Kバイト) | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 16 |
| L2キャッシュ・サイズ(Kバイト) | 256 | 1024 | 非該当 | 256 | 1000 | 非該当 | 非該当 | 256 |
| 浮動小数点演算 | ソフトウェア | ハードウェア | ハードウェア | ハードウェア | ハードウェア | ハードウェア | ハードウェア | ハードウェア |
| コンパイラ | MULTI 3.6.1 | MULTI 3.6.1 | MULTI 3.6 | MULTI 3.5 | MetaWare 4.3 | gcc 3.1 | gcc 3.3 | gcc 3.3 |

注1：MULTIはGreen Hills Software社のコンパイラ．
注2：MetaWareは米国MetaWare社のコンパイラ．
注3：gccはGNUプロジェクトで開発されたコンパイラ．

### ● 各個別のベンチマークの結果から推測すると…

● ネットワーキング・ベンチマーク

ネットワーキング・ベンチマークは，キャッシュのレイテンシと構成によって性能が左右されます．例えば512Kバイトのパケット・フロー・カーネルは，約31Kバイトのデータ・サイズをパケット・ヘッダとして繰り返し使います．従って，このベンチマークは32Kバイトのアソシアティブ L1キャッシュにほぼ完全にヒットします．

● テキスト処理のベンチマーク

テキスト処理のベンチマークは，strcmpおよびstrcpyのライブラリ関数を用います．この関数を最適化すると，テキスト処理ベンチマーク結果でよい値が得られます．このベンチマークで使われるデータの総容量は約42Kバイトです．

この場合，64Kバイトのアソシエイティブ L1キャッシュでほぼ完全にキャッシュがヒットします．L1キャッシュが64Kバイト未満だと，L2キャッシュのレイテンシがこのベンチマークの性能結果に大きく影響してきます．また，このベンチマークはパーシングに代表されるように制御処理がコード全体の20%を占めるため，分岐レイテンシによっても性能が大きく変化します．

● 行列演算ベンチマーク

行列演算ベンチマークにおいては，ポピュラな演算アルゴリズムとしてLU分解と行列式が存在し，これらは62Kバイトのデータセットに対して演算操作が行われます．

ベンチマーク性能に影響する要因には，浮動小数点演算のレイテンシおよびキャッシュ・レイテンシがあります．プリンタでは浮動小数点演算はほとんど使われませんが，行列演算はレンダリング・アルゴリズムでよく用いられます．

● 角度時間変換とPWMベンチマーク

角度時間変換およびPWMベンチマークは，モータ制御およびタイミング機能で用いられるものですが，ほとんどの場合，制御コードとコンパイラ効率の影響を受けます．このベンチマークは，簡単に16Kバイトの小さなキャッシュに入ります．

**表4**に該当プロセッサのキャッシュ構成，浮動小数点演算のインプリメント法および使用コンパイラの比較を示します．

### ● ベンチマークの結果から採用するプロセッサを決める

**表4**をみると，PMC-Sierra社のRM7000Cは1次キャッシュの容量が小さいため，パケット処理などの一部のベンチマークで性能が不利になります．米国IBM社のPowerPC 750GXおよび米国Freescale Semiconductor社のPowerPC 7400は，2次キャッシュの容量が大きいためいくつかのベンチマークで優位になります．IBM社のPowerPC 440GXはハードウェアで浮動小数点演算を実装していないため，行列演算性能が劣ります．

次に，CPUコアの周波数(**図3**)から要求コア周波数を実際にもたない製品を選定候補からはずします．Freescale社のMPC7455は733MHzと低い周波数から製品が存在するため，オプションとして残します．最後に性能と消費電力を考慮することで，IBM社のPowerPC 440GX(667MHz)およびPMC-Sierra社のRM7000C(625MHz)が選定候補に残ります．最終判断として従来機種でRM5261A(300MHz)を用いていたため，アーキテクチャを変更するリスクを取らずにPMC-Sierra社のRM7000C(625MHz)を選択します．

## EEMBCベンチマークの今後の展開

現在プロセッサ市場では，消費電力を上げずに性能を上げるという目標を達成するべくプロセッサ・ベンダが競い合っています．

ところが，プロセッサのデータシートに記載された平均

消費電力は各社測定条件が異なっていたり，またはそれが十分開示されていないのが現状です．このような状態で競合するプロセッサの消費電力を比較することは難しい課題でした．そこでEEMBCは，性能評価用に開発したベンチマーク・ソフトウェアをプロセッサのエネルギー測定にも応用しようという方向性を見出しました．

プロセッサの消費エネルギー量は，実行するプログラムおよびそのとき用いられるデータ・セットに大きく依存するため，業界標準ベンチマークを実行するという条件を付けることで，エネルギー測定条件がプログラム面で明確になりました．また，消費エネルギー測定には廉価な米国National Instruments社（http://www.ni.com）のグラフィカル開発環境LabVIEWとデータ集録用DAQデバイス，制御・集録に用いるパソコンを標準的に用いることによりハードウェア面で測定条件が明確になりました．

これらの測定条件の詳細については，機会を改めて紹介する予定です．このようにEEMBCは，公平で明確なエネルギー測定条件を標準化することで，プロセッサ・ベンダが消費電力に関して共通の土俵で戦うことを可能にしました．電力測定は，マルチコア化が普及するにつれて，ますます重要な意味を持つようになります．今後は，電力計測ソフトウェアEnergyBenchと個別性能ベンチマークを組み合わせた場合の消費エネルギー・スコアを，EEMBCのWeb上に公開していく予定です．

＊　＊　＊

組み込み市場におけるプロセッサのベンチマーク・ソフトウェアは従来，プロセッサ・ベンダのマーケティング・ツールとして非常に限られた用途で使われてきました．しかし，EEMBCにより，システム設計者やASICベンダがプロセッサ・サブシステムの性能チューニングや消費エネルギーの予測にも役立てられるという新しい方向で利用できるようになり，より有効な開発ツールの一つとして位置付けられようとしています．

**おおつか・さとし**
**ミューマイクロコンサルティング 代表**

**<筆者プロフィール>**
**大塚　聡**．カナダTorontoで10年間，現地のパソコンの設計・製造会社に勤務．画像処理向けのボード設計やASIC設計を行った．帰国後，外資系半導体メーカに約14年間勤務し，応用技術部長として在職．2006年2月，ミューマイクロコンサルティングを設立し，現在に至る．